

CAPÍTULO IV – MINERAIS PESADOS

Análises da tipologia e concentração de minerais pesados constituem uma das técnicas mais usadas no estudo petrológico de sedimentos, sendo usados como ferramentas de correlação estratigráfica e como indicadores diretos da natureza da(s) área(s)-fonte (Morton 1984).

A maioria dos minerais pesados tem um baixo grau de sobrevivência em superfície devido à instabilidades químicas e mecânicas. De uma maneira genérica, quanto mais altas a temperatura e a pressão de formação do mineral, menos estável o cristal será sob condições de intemperismo (Pupin 1980). Durante o transporte sedimentar, clivagens fragmentam os grãos, abrindo caminho para alterações químicas e fazendo com que desapareçam ao longo deste processo (Addad 2001). Fases minerais menos resistentes vão sendo seguidamente eliminadas.

Kimberlitos e lamproítos possuem uma assembléia de minerais pesados com características químicas únicas (Kirkley *et al.* 1991). Muitos destes minerais são resistatos, ou seja, sobrevivem ao intemperismo físico e químico, erosão da rocha-fonte, dispersão em superfície e transporte sedimentar por consideráveis distâncias (Morris & Kaszycki 1997). Os mais importantes indicadores minerais kimberlíticos são a granada-piropo, ilmenita, cromita e o cromo-diopsídio (Fipke *et al.* 1989).

Durante o curso de “Aperfeiçoamento em exploração mineral”, promovido pela *Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira* (ADIMB, Brasília - 2002) e ministrado pelo Prof. Herb Helmstaedt (Queen’s University, Canadá), foram observados assembléias de minerais pesados de afinidade kimberlítica/lamproítica de diferentes partes do mundo (África do Sul: Roberts Victor, Kaalvallei, Lace, Balmoral e Jagersfontein; Estado Unidos: Schaffer 19 (Wyoming), Lake Ellen (Michigan) e Stockdale (Kansas); Canadá: Kirkland Lake (Ontário)).

Grandas-piropo possuem cor variável, ocorrendo desde um laranja claro até um lilás-púrpura, sendo esta última facilmente distinta nos concentrados diamantíferos. Textura kelfítica e superfícies corroídas podem ocorrer nos grãos próximos à fonte magmática “primária”. A química dos piropos pode ser usado como guia para o potencial diamantífero de um kimberlito (Dawson & Stephens 1976).

Ilmenitas kimberlíticas são ricas em Mg e Cr. Possuem coloração escura e brilho vítreo a sub-metálico em superfícies frescas. É extremamente difícil de se separar visualmente ilmenitas kimberlíticas de ilmenitas não-kimberlíticas. Geralmente, menos de 25% dos grãos selecionados por prospectores experientes são confirmados como ilmenitas kimberlíticas através da análise por microsonda eletrônica (Prof. H. Helmstaedt, comunicação verbal).

Cromo-diopsídio possui cor verde característica e é facilmente identificada nos concentrados. É um mineral instável em condições de superfície e usualmente não é encontrado nos “halos” de dispersão sedimentar por distâncias superiores a 15km da rocha-fonte. Contudo, é um mineral muito comum em outros tipos de rochas que não sejam kimberlitos e sua presença isolada não é indicativo de kimberlito e rochas correlatas.

Cromita é um mineral resistato que pode sobreviver por grandes distâncias durante o transporte sedimentar. Possui forma octaédrica, apresentando-se subarredondada em concentrados aluvionares. A cor é preta a marrom-escura, cujo brilho (vítreo a sub-metálico) encontra-se, por vezes, obliterado por uma capa de

reabsorção magmática, caracterizado por superfície fosca. Este espinélio é um indicador importante, uma vez que as cromitas que se originaram no campo de estabilidade do diamante são caracterizados por um conteúdo de Cr que não excede 60% (Schulze 1996).

Afora o diamante, outros minerais indicadores incluem olivina, granada eclogítica (série almandina-piropo) e priderita (comum em lamproítos). Rutilo (muito comum em xenólitos eclogíticos) e sulfetos são encontrados numa grande diversidade de rochas e quando ocorrem isolados, não constituem indicadores confiáveis.

IV. 1 – Prospecção aluvionar

A caracterização dos concentrados diamantíferos de kimberlitos/lamproítos durante a realização do curso referido anteriormente e, especialmente a observação de populações de granda-piropo, ilmenita, cromo-diopsídio e cromita utilizando lupa binocular (60 X aumento), serviram de preparação-base para as campanhas de prospecção aluvionar na bacia do rio Macaúbas.

Concomitantemente com o mapeamento geológico, foram obtidas informações com garimpeiros e moradores da região sobre as áreas com registro de extração de diamantes e carbonados, em tempos pretéritos ou atuais. Os dados apresentados na tabela abaixo, constituem um pequeno registro histórico sobre os maiores diamantes e carbonados encontrados na bacia hidrográfica do rio Macaúbas:

Tabela 9 – Registro histórico sobre diamantes e carbonados na bacia do rio Macaúbas

Entrevistado* (localidade onde reside)	Diamante / carbonado (peso aproximado, ct)	Ano (aproximado)	Local (aproximado)
Barbosa (sem moradia fixa e falecido em 2004)	Diamante - 20 ct	1974	Rio Macaúbas, abaixo da confluência c/ o ribeirão Onça
Barbosa (sem moradia fixa e falecido em 2004)	Diamante - 30 ct	1978	Desembocadura do ribeirão Onça com o rio Macaúbas
Zé Maria Pó (Faz. Cajueiro)	2 diamantes: 4.25, 12.5 ct	1978	Rio Macaúbas, entre os córregos Melancia e Retiro
Tonho e Salvador (Guaraciama)	Carbonado > 20 ct	1980	Córrego Pastinho
“Shoro” / Tião Mudesto (C. dos Barcos)	Lote de diamantes, totalizando 52 ct	1984	Córrego dos Barcos
Geraldinho Crente (Rib. Ilha)	Diamante: 6.75 ct	1991	Rio Macaúbas, entre o córrego Água Limpa e Melancia

* Nome popular pelo o qual é conhecido na região.

Ainda que se possa dar crédito à veracidade destas informações, a validade das mesmas é de difícil comprovação. Os dados apresentados acima não foram considerados nos levantamentos estatísticos sobre as características das populações de diamantes e carbonados da área de estudo.

Um dos objetivos do mapeamento geológico, foi o de apontar possíveis “alvos” para as campanhas de prospecção aluvionar, visando obter diamantes, carbonados e minerais indicadores de afinidade mantélica.

Através do reconhecimento dos possíveis processos sedimentares e dos ambientes deposicionais as quais se relacionam, apenas três litofácies (meta) sedimentares foram consideradas candidatas à “rocha-fonte” dos diamantes e carbonados da bacia do rio Macaúbas (item III.7): 1) as lentes metaconglomeráticas da Formação Matão (Supergrupo Espinhaço); 2) os metadiamictitos da Formação Serra do Catuní (Grupo Macaúbas); 3) os conglomerados reliquiais do Cretáceo.

O planejamento das campanhas de prospecção aluvionar baseou-se nos resultados do mapeamento geológico e das informações prestadas pelos garimpeiros e moradores da região. Foram realizados 44 pontos de serviços exploratórios (Mapa de pontos e Tabela em anexo), sendo que em 39 destes foi utilizado o método manual, ou seja, abertura de um serviço de garimpagem e retirada do material aluvionar com equipamentos manuais (pá, enxada, alavanca de ferro fundido e balde), e posterior concentração dos minerais pesados utilizando-se somente peneiras garimpeiras. Nos pontos P24 (C6), P11 (C8), P17, P19 (G11) e P20 (F11), os minerais pesados foram obtidos por garimpagem semi-mecanizada, na qual mergulhadores succionam o cascalho aluvionar através de um mangote de 8 ½ polegadas para o interior de uma caixa de armazenamento, conectada a uma “bica” inclinada e preenchida com grelhas para contenção de diamantes (e demais minerais pesados). A concentração final também é feita utilizando-se peneiras garimpeiras.

Pela diferença de volume extraído entre os métodos manual e semi-mecanizado, os resultados dos levantamentos de prospecção aluvionar são considerados como qualitativos, não sendo possível inferir um parâmetro seguro em que se possa estabelecer a correlação precisa sobre a abundância relativa de diamantes, carbonados e minerais pesados entre os pontos prospectados.

Para uma melhor visualização, os resultados dos serviços de prospecção aluvionar foram compartimentados segundo o domínio geológico em que ocorrem, de acordo com a área de influência das unidades litoestratigráficas levantadas durante o mapeamento geológico (tabelas 10 a 12). Porém, duas ressalvas são obrigatoriamente feitas: *i*) os conglomerados cretácicos distribuem-se de forma reliquiar, provavelmente devido a um profundo processo de erosão destes ruditos. O capeamento sedimentar que os recobre (Formação São Domingos e solos residuais), dificultam ainda mais sua localização. Pela pequena área de exposição e por ocorrerem isoladamente no topo das chapadas, nenhuma drenagem poderia conter minerais pesados característicos unicamente destes sedimentos; *ii*) o rio Macaúbas constitui o nível de base local, recebendo afluentes de todas as margens e conseqüentemente toda a carga de sedimentos, incluindo minerais pesados. Os pontos em que foram coletados material aluvionar no rio Macaúbas também foram agrupados separadamente (Tabela 12), mas as interpretações das assembléias de minerais pesados nestes pontos não levaram em consideração o domínio geológico segundo o qual foram coletados.

Tabela 10 – Distribuição de minerais pesados segundo os pontos amostrados cujas drenagens cortam somente litotipos do Supergrupo Espinhaço.

Ponto	Drenagem	Ouro	Anatásio	Rutilo	Magnetita	Fosfatos	Turmalina	Cianita
P40	Rio Macaúbas	-	-	-	-	X	X	X
P41	C. Saco de Mel	-	-	-	-	X	X	X
P39	C. Taquarí	-	-	X	X	X	-	-
P38	C. Taquarí	-	-	X	-	X	X	-
P37	C. José Coelho	-	-	-	-	-	X	-
P36	C. Taquarí	-	X	X	-	X	X	X
P35	C. Taquarí	-	X	X	X	X	-	X
P12	C. da Dona	-	-	-	-	X	-	-
P15	C. Lavras	X	X	X	X	X	-	-

Tabela 11 – Distribuição de minerais pesados segundo os pontos amostrados cujas drenagens cortam somente litotipos do Grupo Macaúbas.

Ponto	Drenagem	Diamante	Carbonado	Ouro	Rutilo	Anatásio	Estauroлита	Monazita	Granada	Crisoberilo	Fosfatos	Cianita
P1	Rib. Onça	-	-	X	-	X	-	-	X	-	X	-
P44	Pastinho	-	X	-	-	X	-	-	X	X	X	-
P2	Rib. Onça	X	X	-	-	X	-	-	X	X	X	-
P3	Rib. Onça	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	X
P4	Rib. Onça	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-
P5	C. Barcos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P6	Rib. Onça	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P7	Rib. Onça	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P8	Laranjeiras	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X
P9	Cur. Pedra	-	-	-	X	X	-	X	-	X	X	X
P18	Água Limpa	-	-	X	-	X	-	-	-	-	X	-
P22	Rib. Ilha	X	X	X	X	X	-	-	X	X	-	-
P29	C. Furadico	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-	-
P25	C. Furna	-	-	-	X	X	-	-	X	X	X	-

Tabela 12 - Distribuição de minerais pesados segundo os pontos cujas drenagens cortam litotipos do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas, acrescidos dos pontos amostrados ao longo do rio Macaúbas.

Ponto	Drenagem	Diamante	Carbonado	Ouro	Rutilo	Anatásio	Estauroлита	Monazita	Granada	Crisoberilo	Fosfatos	Cianita	Turmalina	Magnetita
P42	R. Macaúbas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-
P43	R. Macaúbas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P34	R. Macaúbas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
P33	R. Macaúbas	-	-	-	-	X	-	-	-	X	X	-	-	-
P32	C. Ursa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
P31	R. Macaúbas	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-
P30	R. Macaúbas	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-
P28	R. Macaúbas	-	-	-	X	X	-	-	X	X	X	-	-	-
P27	C. Rancharia	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-
P26	R. Macaúbas	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-
P24	R. Macaúbas	X	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-
P10	C. Dona	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	-
P11	R. Macaúbas	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-
P13	R. Macaúbas	-	-	-	X	X	-	-	X	X	X	-	-	-
P14	C. Lavras	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	X	-	X
P16	R. Macaúbas	-	-	X	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-
P17	R. Macaúbas	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-
P19	R. Macaúbas	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-
P20	R. Macaúbas	X	-	X	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-
P21	R. Macaúbas	X	-	X	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-
P23	R. Macaúbas	X	-	X	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-

IV.2 – Caracterização dos minerais pesados

Todos os minerais pesados descritos, com exceção do ouro e do carbonado, foram encontrados na fração da peneira “fina” (0.2 cm de malha quadrada). Pelo fato de ocorrerem em praticamente todos os concentrados, goethita e hematita não serão considerados nas tabelas de discriminação de minerais pesados segundo os pontos de amostragem.

Goethita ($\alpha\text{FeO}(\text{OH})$) é um dos minerais mais comuns nos concentrados. Ocorre como agregados radiais, mostrando linhas concêntricas, relacionado ao produto de pseudomorfo limonítico, um termo descritivo para óxidos hidratados de ferro, pirita (mais comum) e magnetita. A coloração é castanho escura.

Hematita ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) apresenta-se como grãos maciços a fragmentos de agregados especulares. Parte dos grãos tabulares possuem estrias e canais na superfície. Comumente são arredondados e opacos, cuja coloração característica é em tons de cinza, desde claros a escuros. Observam-se também cristais com superfícies iridescentes.

O anatásio (TiO_2) ocorre em grande parte das drenagens da bacia do rio Macaúbas, representando, possivelmente, proveniências diferentes. Os tipos mais comuns são anatásios azuis, amarelos ou com zonamento entre estas cores. Os cristais são transparentes, translúcidos ou mesmo opacos, com brilho adamantino a metálico. Os cristais preservados ocorrem como bipirâmides e os fragmentos de clivagem são influenciados pelos planos (001) e (011). Grãos arredondados são muito comuns.

O rutilo (TiO_2), juntamente com o zircão e a turmalina, constitui um dos minerais índices de maturidade sedimentar (Berkman 1976, Huston 1977). Os grãos de rutilo observados possuem a tendência de conservar o formato euédrico, com arestas progressivamente arredondadas, chegando a atingir altos graus de arredondamento e esfericidade, com fratura subconchoidal. O brilho é metálico e a coloração é preta a avermelhada. A exemplo do anatásio, distribuem-se amplamente nas drenagens da área de estudo e não são característicos para uma fonte específica.

Os cristais de turmalina $((\text{Na,Ca})(\text{Mg,Al,Li})_3(\text{Al,Fe,Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{SiO}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4)$ possivelmente são característicos dos metassedimentos do Supergrupo Espinhaço. Nos pontos em que foram observados no rio Macaúbas, ocorrem somente a jusante dos pontos de confluência entre este rio e as drenagens que seccionam estes metassedimentos (e.g. P42 (E3)). Os grãos são prismáticos (aciculares) a irregulares, com diferentes graus de arredondamento. A cor predominante é preta, com poucos grãos de coloração esverdeada.

A cianita (Al_2SiO_5) ocorre como cristais translúcidos a transparentes, com brilho vítreo a nacarado. Os grãos geralmente são dominados pela clivagem perfeita em (100), que juntamente com uma clivagem em (010) e a partição em (001), originam um contorno aproximadamente retangular, achatado, onde são observados degraus e reentrâncias. Os fragmentos de clivagem são alongados, mas com bordas arredondadas, evoluindo com a abrasão para grãos ovais achatados. Distribuem-se amplamente nos sedimentos de corrente da área de estudo e também não constitui um mineral indicador.

A magnetita ($\text{Fe}^{3+}(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$) ocorre somente no domínio dos metassedimentos do Supergrupo Espinhaço, com poucos minerais observados por ponto prospectado. Ocorre como cristais octaédricos a fragmentos subarredondados, opacos, de coloração marrom escura. Coberturas e filmes limoníticos são comuns.

Os fosfatos são constituídos por fragmentos subarredondados a arredondados, de coloração bege clara a escura. Segundo o vocabulário garimpeiro, são designados de “favas” e constituem um dos minerais pesados mais frequentes da área de estudo.

Ouro ocorre disseminado em toda a área e foi encontrado somente na fração bateia, na forma de pó de grãos. Não foi possível sua caracterização com relação a textura e a forma cristalográfica.

Granada-almandina, crisoberilo, estaurolita e monazita somente puderam ser identificados de forma satisfatória com o auxílio da espectroscopia Raman (Figura 38). O crisoberilo e a almandina são relativamente mais abundantes e possuem maior distribuição nos concentrados com relação à estaurolita e a monazita. A distribuição destes minerais no rio Macaúbas, no ribeirão do Onça e nas drenagens que ocorrem somente na porção oeste da bacia, sugerem um halo de dispersão a partir dos metassedimentos da Formação Serra do Catuni (metadiamicrito) ou dos conglomerados cretácicos.

A almandina ($\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) ocorre como grãos irregulares, fraturados e arredondados. Apresentam brilho vítreo nas superfícies fraturadas, possuindo coloração avermelhada escura. Contudo, em grande parte dos cristais arredondados, a superfície é fosca, provavelmente devido a abrasão no meio sedimentar.

O crisoberilo (BeAl_2O_4) ocorre geralmente em grãos arredondados, ou como fragmentos de cristais angulosos com bordas arredondadas, dominados por fraturas conchoidais ou irregulares. Os grãos são translúcidos a transparentes, de brilho vítreo. A coloração é amarelada até quase incolor, raramente com sobreposição para um verde claro.

Os grãos de estaurolita ($(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O}, \text{OH})_2$) apresentam brilho vítreo a resinoso, passando a um aspecto “terroso” em cristais mais alterados. A coloração é castanho-avermelhada de tonalidade escura. Os cristais são arredondados, raramente com relictos de faces preservadas. Fraturas subconchoidais controlam a forma alongada da maioria dos grãos.

A monazita ($(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th})\text{PO}_4$) apresenta-se na forma de grãos completamente arredondados, com formato “ovóide” ou subsféricos. Fraturamento subconchoidal condiciona cristais irregulares. O brilho nas superfícies fraturadas é vítreo a resinoso, de coloração acastanhada escura. A exemplo dos outros minerais, o brilho é obliterado pela superfície fosca que se desenvolve em função da abrasão mecânica.

Diamantes foram recuperados nos pontos P2 (A5), P4, P5, P6, P7 (B7), P24 (C6), P11 (C8), P17, P19 (F11), P20, P21 (G12), P22 (F12) e P23 (G13) (Figura 39). A exceção de 5 diamantes recuperados nos pontos P5 (B7) e P17 (F11) (2 e 3 diamantes, respectivamente), extraídos pelo próprio autor, os demais cristais foram explotados por garimpeiros, com registro de extração *in situ*. Efetuou-se à caracterização dos diamantes extraídos nestes pontos através dos parâmetros de descrição contidos na Tabela 1 (vide Capítulo V).

Os diamantes recuperados e adquiridos no ponto P20 (G12), constituem em sua quase totalidade, diamantes menores que 0.05 ct, designados popularmente como “diamantes de seda”. Uma vez terminado o serviço de lavagem e apuração do material diamantífero retido nas grelhas de contenção da draga, a fração de fundo (ou “bateia”), pode ser reconcentrada por quaisquer outras pessoas que não participem diretamente do garimpo. No caso específico, foram parcialmente recuperados pelo autor e pelo cozinheiro da draga.

A extração de carbonado foi registrada em alguns pontos onde foram recuperados diamantes, ou seja, nos pontos P2 (A5), P5, P7 (B7), P24 (C6), P17, P19 (F11) e P22 (F12). O ponto P44 (A3) foi o único local onde observou-se a recuperação de um carbonado sem a ocorrência associada de diamante. Ao todo, foram recuperados 17 carbonados, com peso variando de 0.4 a 8.25ct (com peso total de 56.97ct). A coloração dos carbonados varia entre as tonalidades preto, cinza e castanho, por vezes, apresentam-se avermelhadas, possivelmente devido à adesão de películas de argila vermelha na superfície do mineral. A caracterização destes minerais é apresentada no Capítulo VI.

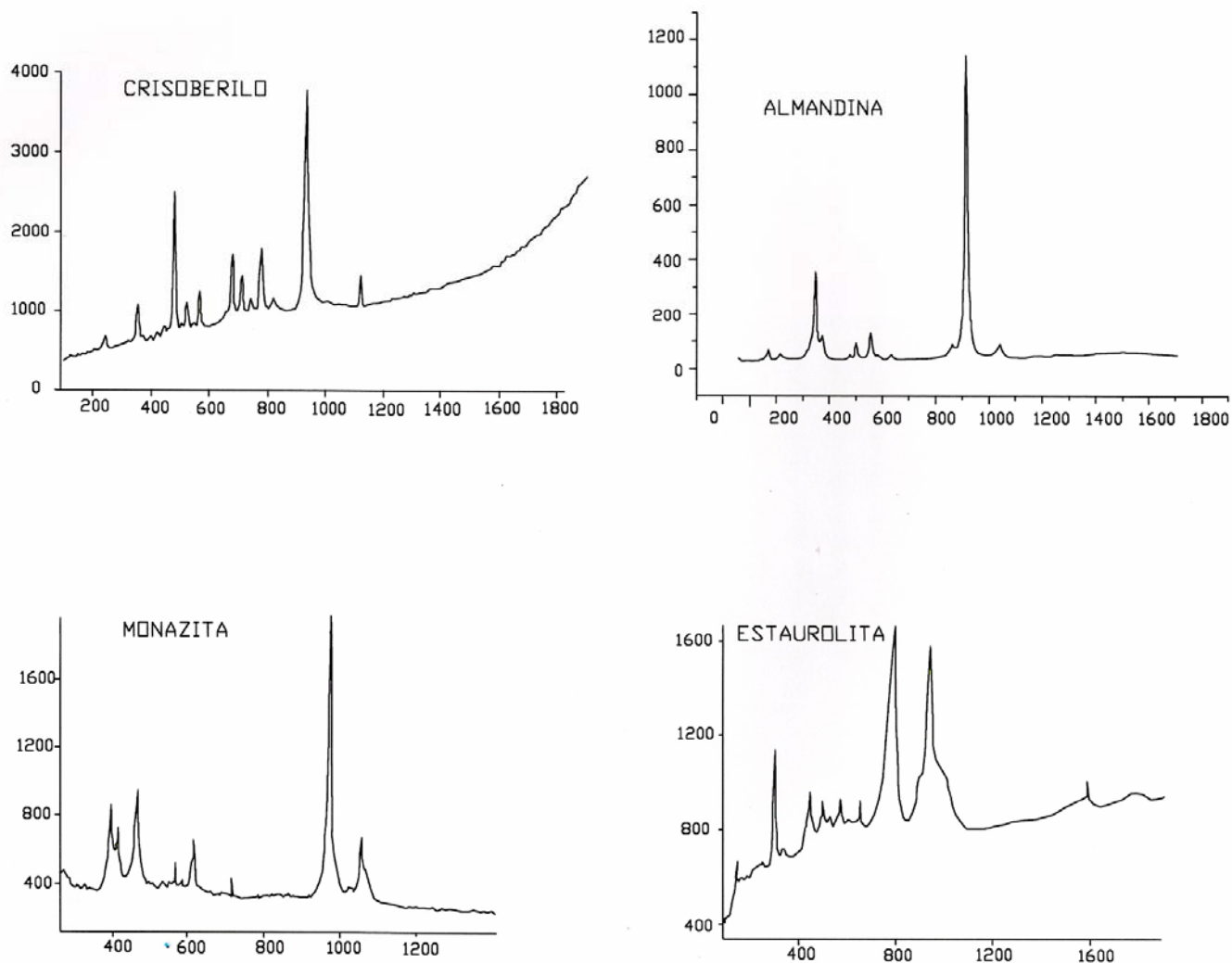


Figura 38 – Desvios Raman para crisoberilo, granada almandina, monazita e estauroлита extraídos da bacia do rio Macaúbas durante as campanhas de prospecção aluvionar. Eixo X: número de contagens, eixo Y: cm^{-1} .

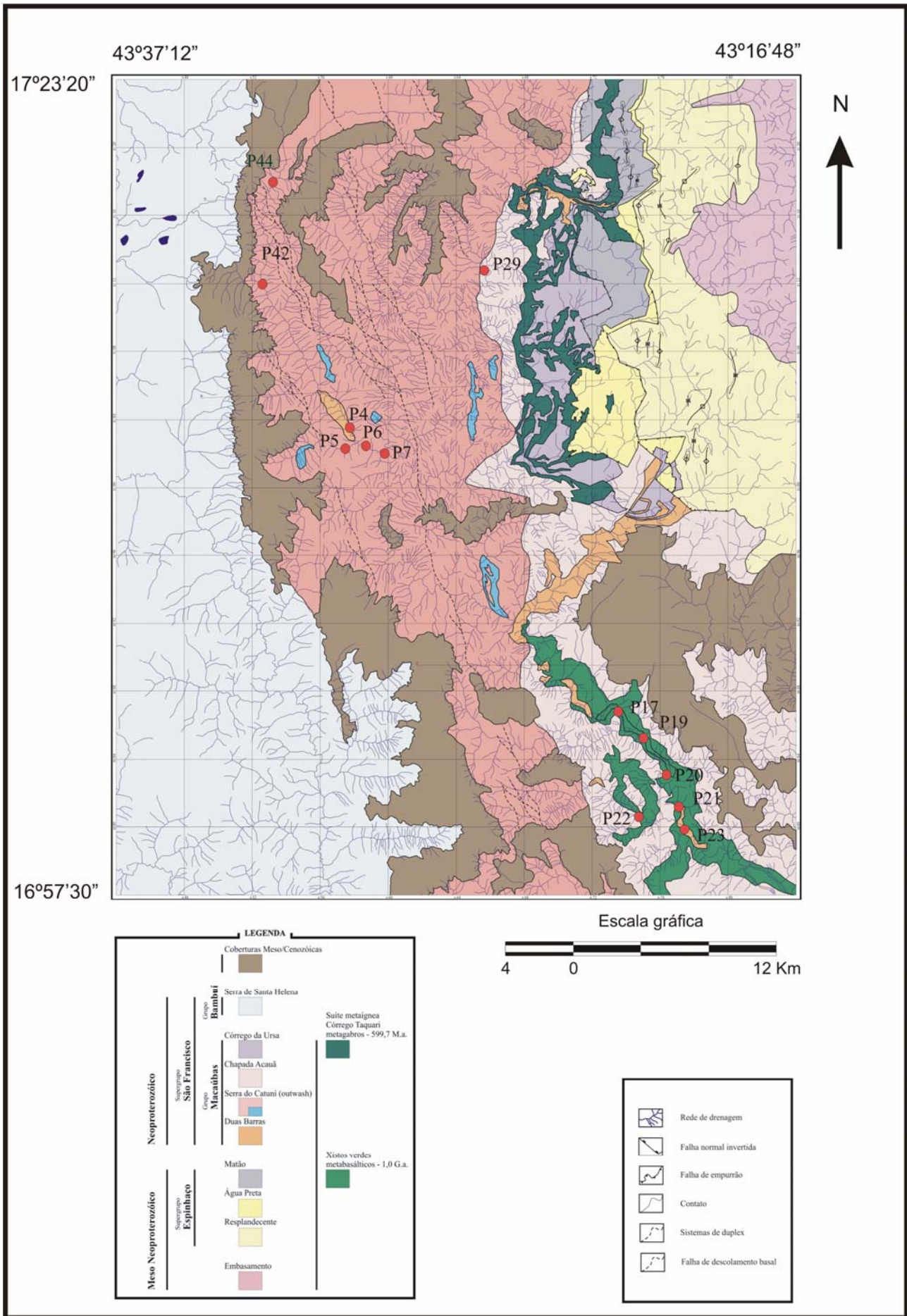


Figura 39 – Mapa geológico simplificado destacando os pontos de prospecção aluvionar (em vermelho) onde foram recuperados diamantes e carbonados.

IV.3 – Resumo geral sobre os resultados obtidos através das campanhas de prospecção aluvionar na bacia do rio Macaúbas.

- A) À exceção dos diamantes e carbonados (?), os demais minerais pesados presentes nesta bacia não possuem afinidade com rochas kimberlíticas/lamproíticas;
- B) Ouro, rutilo, anatásio, magnetita, turmalina (variedade schorlita) e fosfatos podem ser formados a partir da cristalização de soluções hidrotermais, responsáveis pelo lixiviamento e remobilização de elementos químicos durante o metamorfismo regional no fácies xisto verde baixo, característico para a bacia do rio Macaúbas (Uhlein 1991).
- C) De uma forma geral, crisoberilo e monazita são compatíveis com uma fonte pegmatítica, ao passo que almandina, cianita e estauroлита relacionam-se a rochas metamórficas do fácies xisto verde alto a anfíbolito. Juntamente com diamantes e carbonados, todos estes minerais são considerados exóticos à geologia da área de estudo.
- D) A recuperação de carbonado, diamante, almandina, crisoberilo, estauroлита e monazita nos córregos e ribeirões que drenam somente a porção oeste da bacia (córregos Pastinho e Barcos, ribeirões do Onça e da Ilha), apontam para um “halo” de dispersão a partir de duas possíveis fontes (meta) sedimentares: metadiamicritos da Formação Serra do Catuni e/ou conglomerados cretácicos. Contudo, não se exclui a possibilidade de que parte dos diamantes e carbonados extraídos no rio Macaúbas possa também estar relacionada aos níveis conglomeráticos da Formação Matão (Supergrupo Espinhaço).